

ВЦГ со стандартными схемами холодной сероочистки (*CGD*). Из расчетов [7] следует, что при переходе от *CGD* к *HGD* КПД ПГУ-ВЦГ нетто электрический повышается на 2,5 процентных пункта и превышает 50 %.

#### Список использованных источников

1. Woolcock P. J., Brown R. C. A review of cleaning technologies for biomass-derived syngas / P. J. Woolcock, R. C. Brown // Biomass and Bioenergy. 2013. Vol. 52. P. 54-84.
2. Newby R. A. Fuel gas cleanup parameters in air-blown IGCC / R. A. Newby, W. C. Yang, R. L. Bannister, J. Eng // Gas Turbines Power. 2000. Vol. 122 (2). P. 247-254.
3. Stiegel G. J. Gasification technologies: the path to clean, affordable energy in the 21st century / G. J. Stiegel., R. C. Maxwell // Fuel Process. Technol. 2001. Vol. 71 (1-3). P. 79-97.
4. Korens N. Process screening analysis of alternative gas treating sulfur removal for gasification / N. Korens, D. R. Simbeck, D. J. Wilhelm // Revised final report. 2002.
5. Giuffrida A. On the effects clean-up temperature in IGCCs / A. Giuffrida, M. C. Romano // Proceedings of ASME Turbo Expo 2010. Power for Land, Sea and Air (CT 2010). June 14-18. 2010. Glasgow, UK.
6. Vamvuka D. Flue gas desulfurization at high temperatures: a review / D. Vamvuka, C. Arvanitidis // Environ. Eng. Sci. 2004. Vol. 21 (4). P. 229-268.
7. Giuffrida A. Thermodynamic analysis of air-blown gasification for IGCC applications / A. Giuffrida, M. Romano, G. Lozza // Applied Energy. 2011. Vol. 88. P. 3949-3958.
8. RTI Warm Syngas Cleanup Technology Demonstration // 8-th International Freiberg Conference on IGCC & Xtl Technologies. Freiberg. Germany. June 13, 2016.

УДК 662.74

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫХОДА ЛЕТУЧИХ ВЕЩЕСТВ В ПРОЦЕССЕ ПИРОЛИЗА КАМЕННОГО УГЛЯ В ИНЕРТНОЙ СРЕДЕ

## STUDY OF DEVOLATILIZATION OF BITUMINOUS COAL IN INERT ATMOSPHERE

Лазебный И. П., Осипов П. В., Рыжков А. Ф.

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, anteymaster1@mail.ru

Lazebny I. P., Osipov P. V., Ryzhkov A. F.  
Ural Federal University, Ekaterinburg

**Аннотация:** В работе рассмотрен процесс конверсии угля при разных скоростях нагрева в инертной среде (аргон). Представлено описание экспериментов. Проведен анализ полученных результатов.

**Abstract:** In present work process of coal conversion at different heating rates in the inert atmosphere (argon) is considered. The description of experiments is submitted. The analysis of the received results is carried out.

**Ключевые слова:** *пиролиз; термогравиметрический анализ; инертная среда; разные скорости нагрева.*

**Keywords:** *pyrolysis; thermogravimetric analysis; inert atmosphere; different heating rates.*

В быстроразвивающихся странах вопросы, связанные с ресурсо- и энергосбережением, всегда будут привлекать большое внимания. В рамках решения данного вопроса в настоящее время интенсивно развиваются технологии газификации и пиролиза твердого органического топлива [1]. Эти технологии являются важными элементами сохранения энергетической безопасности нашей страны [2]. Однако для разработки технологий газификации и пиролиза твердого органического топлива необходимо тщательно изучить процесс конверсии углей разных степеней метаморфизма [3]. В данной работе рассмотрен процесс конверсии каменного кузнецкого угля марки Д при пиролизе в инертной среде (аргон).

В процессе пиролиза химические компоненты в образце угля разлагаются за счет нагрева в относительно низком диапазоне температур (350-900 °С) при отсутствии окислителя (в инертной среде). При пиролизе уголь разлагается на летучие продукты (СО, Н<sub>2</sub>, Н<sub>2</sub>О, NH<sub>3</sub> и др.) и на коксовый остаток. Полное описание протекания процесса пиролиза затруднено его многообразием и рядом других факторов. Однако можно отметить, что процесс пиролиза зависит от скорости нагрева навески, размеров частиц угля в навеске, марки и состава угля, условия, в котором протекает процесс пиролиза, и конечной температуры разложения. Данные по скоростям реагирования и температурным границам могут быть получены методом термогравиметрического анализа (ТГА). Полученные результаты очень важны для полного понимания кинетических особенностей и механизмов протекания реакции газификации и пиролиза [4].

ТГА является методом исследования навески образца (твердого или жидкого органического топлива), в котором определяется изменение массы навески образца в зависимости от температурного режима в контролируемой среде. Данный метод анализа обладает высокой степенью точности при измерении массы и температуры навески. Температурный режим в рабочей камере может быть задан изотермическим или неізотермическим. Полученные данные по термическому разложению могут быть использованы для изучения кинетики газификации и пиролиза твердого топлива.

Скорость разложения угля при пиролизе изменяется в зависимости от температуры пиролиза и скорости нагрева навески. В данной работе проведено экспериментальное исследование выхода летучих веществ при пиролизе кузнецкого угля марки Д в инертной среде (аргон). Эксперименты проводились на приборе синхронного термического анализа *NETZSCH STA 449 F3 Jupiter* с разными скоростями нагрева навески. Масса навески образцов в начале эксперимента составляла 10 мг, средний диаметр частиц в навеске равен 150 мкм.

На рис. 1 представлены экспериментальные кривые конверсии угля в инертной среде (аргон) при разных скоростях нагрева навески.

Представленные на рис. 1 данные, полученные методом ТГА, могут быть использованы для оценки технических характеристик угля. Как видно в диапазоне температур 350-550 °С интенсивно протекает процесс конверсии образцов, при дальнейшем нагреве конверсия образцов заметно замедляется. Различие в массах коксовых остатков разных образцов угля (при температуре 900°С) свидетельствует о неоднородности проб угля.

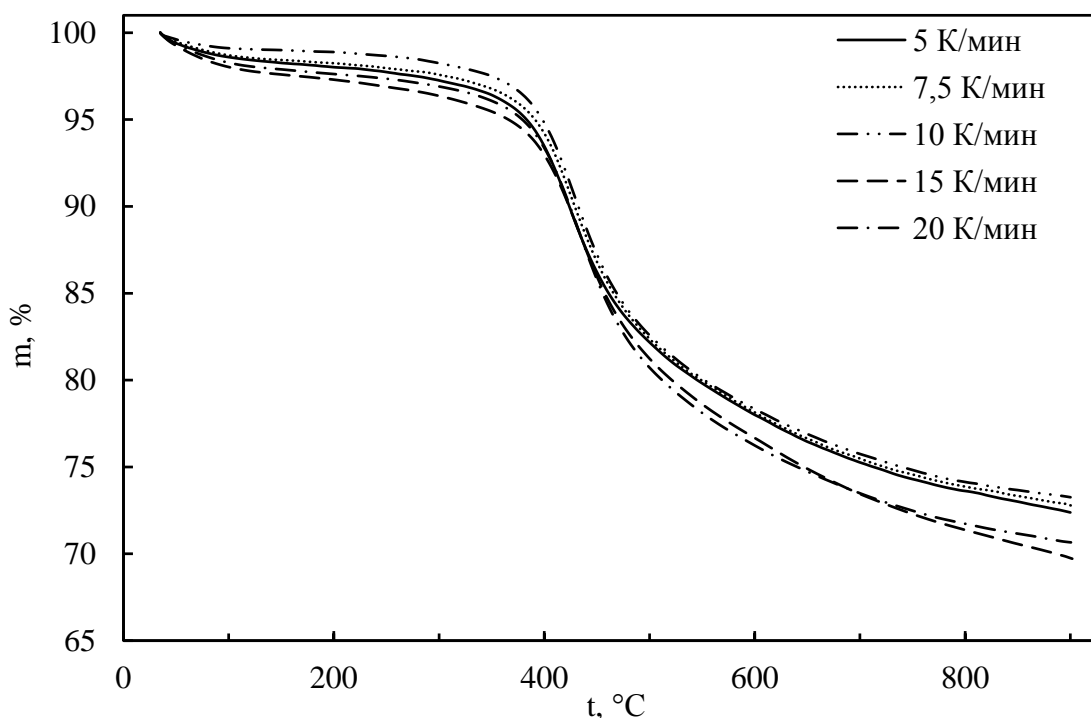


Рис. 1. Зависимость убыли массы навески от температуры и скорости нагрева

На рис. 2 представлена зависимость скорости убыли массы образцов от скорости и температуры нагрева навески.

На всех экспериментальных кривых скоростей термодеструкции навески (рис. 2) видны два пика. Первый соответствует пику выхода влаги из образцов, а второй — пику выхода летучих. Экстремум скорости убыли массы наблюдается при температуре ~ 430°С.

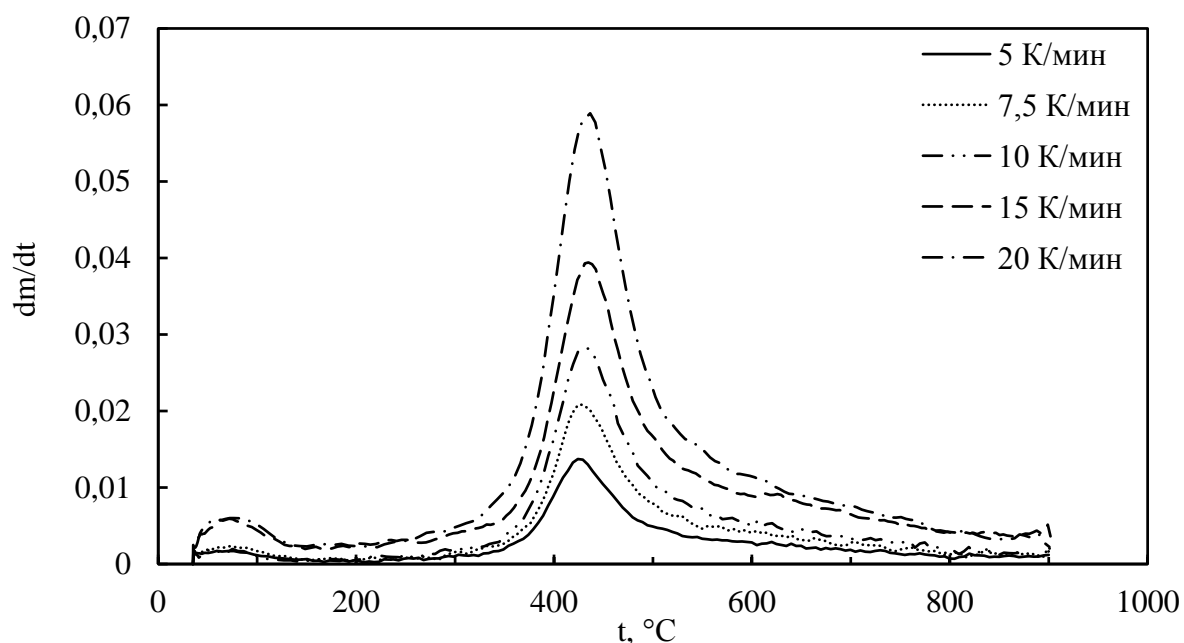


Рис. 2. Зависимость скорости термодеструкции навески от температуры

Анализ конверсии образцов при разных скоростях нагрева навески дает возможность выбора подходящего режима пиролиза и газификации кузнецкого угля марки Д в зависимости от желаемого результата. Также полученные данные могут быть использованы при разработке пиролизеров или газификаторов, работающих на кузнецком угле марки Д, с повышенной энергоэффективностью.

*Исследование выполнено в Уральском федеральном университете за счет гранта Российского научного фонда (проект № 14-19-00524).*

#### Список использованных источников

1. Ольховский Г.Г. Газификация твердых топлив в мировой энергетике (обзор) // Теплоэнергетика. 2015. № 7. С. 3-11.
2. Богатова Т.Ф., Рыжков А.Ф., Вальцев Н.В., Осипов П.В., Гордеев С.И. Гибридные ПГУ на твердом топливе // Энергетик. 2014. № 12. С. 12-16.
3. Lang Liu, Yan Cao, Qingcai Liu. Kinetics studies and structure characteristics of coal char under pressurized CO<sub>2</sub> gasification conditions // Fuel. 2015. V. 146. P. 103-110.
4. Головина Е.С. Исследование гетерогенного горения и газификации углерода и твердого топлива (обзор) // Физика горения и взрыва. 2002. Т. 38. № 4. С. 25-34.